

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-153579  
 (43)Date of publication of application : 23.05.2003

(51)Int.Cl. H02P 6/12  
 H02P 7/63  
 H02P 21/00

(21)Application number : 2001-350145

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC  
 TOYOTA MOTOR CORP

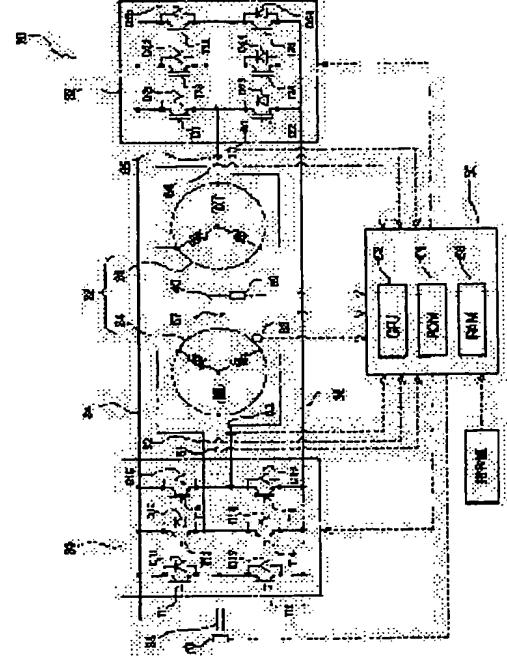
(22)Date of filing : 15.11.2001

(72)Inventor : NAKAI HIDEO  
 MORIYA KAZUNARI  
 OTANI HIROKI  
 INAGUMA YUKIO  
 ARAKAWA TOSHIKUMI  
 OTANI HIROKO  
 SHIYAMOTO SUMIKAZU  
 KOMATSU MASAYUKI

## (54) MOTOR DRIVE CONTROL APPARATUS AND METHOD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To maintain appropriate operation by the drive of other arms, even in the failure of an inverter arm.  
**SOLUTION:** Inverter circuits 30 and 32 supply a current to motor coils 24 and 26, respectively. When the arm of the inverter circuits 30 and 32 fails (for example, a series of two transistors) and no current can be outputted, the current output from other arms is controlled, so that the output of the failed arm is compensated, thus inhibiting the generation of torque ripples of the motor 22, and preventing the adverse effects to the current between the neutral points which are located between the two motor coils 24 and 26 for supplying current.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-153579

(P2003-153579A)

(43)公開日 平成15年5月23日 (2003.5.23)

(51)Int.Cl.  
H 02 P 6/12  
7/63  
21/00

識別記号  
3 0 3

F I  
H 02 P 7/63  
6/02  
5/408

テーマコード(参考)  
3 0 3 V 5 H 5 6 0  
3 7 1 D 5 H 5 7 6  
C

審査請求 未請求 請求項の数 8 O.L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-350145(P2001-350145)

(22)出願日 平成13年11月15日 (2001.11.15)

(71)出願人 000003609  
株式会社豊田中央研究所  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1  
(71)出願人 000003207  
トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地  
(72)発明者 中井 英雄  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(74)代理人 100075258  
弁理士 吉田 研二 (外2名)

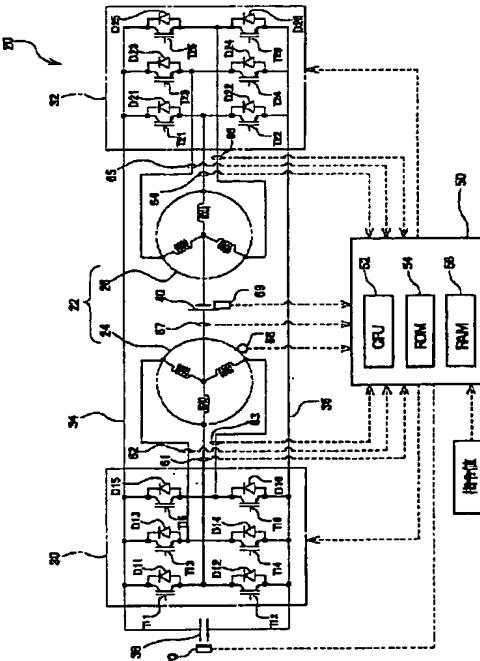
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ駆動制御装置およびその方法

(57)【要約】

【課題】 インバータのアーム故障時にも他のアームの駆動により適切な運転を維持する。

【解決手段】 インバータ回路30、32は、それぞれモータコイル24、26へ電流を供給する。インバータ回路30、32のアーム（例えば、1つ直列接続した2つのトランジスタ）が故障して、電流が出力できなくなった場合に、他のアームからの電流出力を故障したアームの出力を補いように制御する。これによって、モータ22のトルクリップ発生を抑制し、かつ2つのモータコイル24、26の中性点間電流に悪影響を及ぼすことを防止して電流供給が行える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 1つのロータに対し、独立したスター結線のモータコイルを2つ有し、これらモータコイルの中性点間を直流電源を介し接続したモータを駆動するモータ駆動制御装置であって、  
前記2つのモータコイルに対応して設けられ、それぞれが対応するモータコイルの複数の端部に接続される複数のアームを有する2つのインバータと、  
この2つのインバータの各アームの動作を制御する制御回路と、  
を有し、  
前記制御回路は、前記アームの少なくとも1つが故障して電流を出力できなくなったときに、他のアームを制御して、2つのモータコイルにおける電流の回転を維持するとともに、一方のモータコイルの中性点から流れ出る電流が他方のモータコイルに流れ込む電流に一致するよう、2つのインバータにおけるアームを制御するモータ駆動制御装置。

【請求項2】 請求項1に記載の装置において、  
前記2つのモータコイルは、所定角度だけ位相をずらせて配置されているモータ駆動制御装置。

【請求項3】 請求項2に記載の装置において、  
前記2つのモータコイルは、それぞれ互いに120°ずつ位相が異なる三相のコイルから形成され、一方のコイルに流れる電流をa1, a2, a3、その位置ベクトルを( $\cos 0, \sin 0$ ), ( $\cos 120, \sin 120$ ), ( $\cos 240, \sin 240$ )、また他方のコイルに流れる電流をa1, a2, a3、その位置ベクトルを( $\cos q, \sin q$ ), ( $\cos (q+120)$ ), ( $\cos (q+240)$ ,  $\sin (q+240)$ )とし、ここでqは両モータコイル間の位相差であり、前記三角関数の単位は、°であり、この条件で下の3つの式において、故障したアームに対応するコイルの電流および位置ベクトルを0として、他のコイルの電流を決定するモータ駆動制御装置。

$$\begin{aligned} \text{【数1】 } & a_1 \cos 0 + a_2 \cos 120 + a_3 \cos 240 + b_1 \cos q + b_2 \cos (q+120) + b_3 \cos (q+240) = r \cos (wt) \\ & a_1 \sin 0 + a_2 \sin 120 + a_3 \sin 240 + b_1 \sin q + b_2 \sin (q+120) + b_3 \sin (q+240) = r \sin (wt) \\ & a_1 + a_2 + a_3 = - (b_1 + b_2 + b_3) \end{aligned}$$

ただし、rは、モータ出力トルクに有効に働く電流成分の大きさ、wはロータの電気角としての回転角速度、tは時間である。

【請求項4】 第1のインバータにより制御される第1の三相モータコイルと、第2のインバータにより制御される第2の三相モータコイルと、前記第1および第2のインバータに電力を与えるコンデンサと、前記第1およ

び第2の三相モータコイルの中性点に接続された電源とを備え、前記第1および第2のインバータを制御することで前記電源電圧を昇降圧してコンデンサの電圧を可変するコンバータ機能を備えたモータ駆動制御装置において、

所望のモータ駆動電流を実現するために、前記第1および第2の三相モータコイルの各相の電流値に要求される関係と、所望の昇降圧を実現するために前記第1および第2の三相モータコイルの各相の電流値に要求される関係の両方を満たす各相電流値を所定の行列に基づき演算する演算手段を有し、

前記各相のうちの1つが故障した場合には、故障した相の電流がなくて所望のモータ駆動電流と昇降圧のための電流が前記第1および第2のインバータから出力されるように前記所定の行列を変形するモータ駆動制御装置。

【請求項5】 請求項4に記載の装置において、  
前記第1の三相モータコイルと、前記第2の三相モータコイルは二重巻線モータを形成しているモータ駆動制御装置。

20 【請求項6】 請求項4または5に記載の装置において、

前記故障が検出された場合には、昇降圧制御の目標電圧を高く設定するモータ駆動制御装置。

【請求項7】 請求項5に記載の装置において前記第1の三相モータコイルと、第2の三相モータコイルが、0度または60度以外の値の角度差で配置されているモータ駆動制御装置。

【請求項8】 1つのロータに対し、独立したスター結線のモータコイルを2つ有し、これらモータコイルの中性点間を直流電源を介し接続したモータを駆動するモータ駆動制御方法であって、

前記2つのモータコイルに対応して設けられ、それぞれが対応するモータコイルの複数の端部に接続される複数のアームを有する2つのインバータの各アームの動作を制御して、2つのモータコイルに所望のモータ駆動電流を供給するとともに、

前記アームの少なくとも1つが故障して電流を出力できなくなったときに、他のアームを制御して、2つのモータコイルにおける電流の回転を維持するとともに、一方のモータコイルの中性点から流れ出る電流が他方のモータコイルに流れ込む電流に一致するよう、2つのインバータにおけるアームを制御するモータ駆動制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、1つのロータに対し、独立したスター結線のモータコイルを2つ有し、これらモータコイルの中性点間を電源を介し接続したモータを駆動するモータ駆動制御装置およびその方法に関する。

50 【0002】

【従来の技術】従来より、スター結線の三相交流モータが知られており、この三相交流モータへのモータ駆動電流の供給には、インバータ回路が広く用いられている。通常の場合には、インバータ回路の正極母線または負極母線間に直流電源が接続され、この直流電源からの直流電力をインバータ回路によって、所望の三相交流電流に変換して、モータへ供給する。

【0003】ここで、モータに三相交流を印加するインバータ回路の正極母線と負極母線とに接続されたコンデンサとインバータ回路の正極母線または負極母線とモータの中性点とに接続された直流電源とを備えるものが提案されている（例えば、特開平10-337047号公報や特開平11-178114号公報など）。この装置では、モータの各相のコイルとインバータ回路のスイッチング素子からなる回路を直流電源の電圧を昇圧してコンデンサを充電する昇圧チョッパ回路として機能させる動作とインバータ回路をコンデンサの電圧を用いてモータを駆動する本来の回路として機能させる動作とを時間分割により実現してコンデンサの充電とモータの駆動の機能を有するものとしている。

【0004】（関連技術）さらに、本出願人は特願2000-346967号において、2つのモータコイルの中性点間に直流電源を配置するシステムについて提案した。このシステムによれば、2つのモータコイルに対する電流の供給の差に応じて中性点間に流れる電流を制御して、インバータの正負極母線間の電圧と直流電源の電圧の比を制御することができ、より広い範囲における電力変換を行うことができる。

【0005】また、このシステムでは、2つのモータコイルを1つのロータに対し設けることもできる。これによって、1つのモータを駆動しつつ、電力変換の自由度を大きく取ることができる。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】特願2000-346967号のシステムは、非常に効率的なシステムであるが、従来にないシステムである。特に、2つのモータコイルの中点電位を独立して制御できる関係上、その制御の幅が広く、従ってインバータが故障した場合における対処が難しく、システム維持のためににはこれを停止せざるを得なかった。一方、通常の制御を続けた場合には、出力トルクのリップルが大きくなり、コンデンサの電圧を所定の値に維持できないという問題がある。

【0007】本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、インバータの故障時において、モータ駆動を維持することができるモータの駆動制御装置およびその方法を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、1つのロータに対し、独立したスター結線のモータコイルを2つ有し、これらモータコイルの中性点間に直流電源を介し接

続したモータを駆動するモータ駆動制御装置であって、前記2つのモータコイルに対応して設けられ、それぞれが対応するモータコイルの複数の端部に接続される複数のアームを有している2つのインバータと、この2つのインバータの各アームの動作を制御する制御回路と、を有し、前記制御回路は、前記アームの少なくとも1つが故障して電流を出力できなくなったときに、他のアームを制御して、2つのモータコイルにおける電流の回転を維持するとともに、一方のモータコイルの中性点から流れ出る電流が他方のモータコイルに流れ込む電流に一致するように、2つのインバータにおけるアームを制御することを特徴とする。

【0009】このように、本発明によれば、アームの故障によりモータコイルへの電流供給ができなくなったときに、モータの回転を維持するとともに、中性点間の電流を所定のものに維持するように他のモータコイルへの電流を調整する。そこで、アームの故障時においても適切な回転を維持することができるとともに、電力変換を適切なものに維持することができる。

【0010】また、前記2つのモータコイルは、所定角度だけ位相をずらせて配置されていることが好適である。これによって、アームが故障した場合における対応できる範囲を増やすことができる。

【0011】また、前記2つのモータコイルは、それぞれ互いに $120^\circ$ ずつ位相が異なる三相のコイルから形成され、一方のコイルに流れる電流を $a_1, a_2, a_3$ 、その位置ベクトルを $(\cos 0, \sin 0), (\cos 120, \sin 120), (\cos 240, \sin 240)$ 、また他方のコイルに流れる電流を $a_1, a_2, a_3$ 、その位置ベクトルを $(\cos q, \sin q), (\cos (q+120), \sin (q+120)), (\cos (q+240), \sin (q+240))$ とし、ここで $q$ は両モータコイル間の位相差であり、前記三角関数の単位は、°であり、この条件で下の3つの式において、故障したアームに対応するコイルの電流および位置ベクトルを0として、他のコイルの電流を決定することが好適である。

#### 【0012】

$$\begin{aligned} & [数2] a_1 \cos 0 + a_2 \cos 120 + a_3 \cos 240 + b_1 \cos q + b_2 \cos (q+120) + b_3 \cos (q+240) = r \cos (wt) \\ & a_1 \sin 0 + a_2 \sin 120 + a_3 \sin 240 + b_1 \sin q + b_2 \sin (q+120) + b_3 \sin (q+240) = r \sin (wt) \\ & a_1 + a_2 + a_3 = -(b_1 + b_2 + b_3) \end{aligned}$$

ただし、 $r$ は、モータ出力トルクに有効に働く電流成分の大きさ、 $w$ はロータの電気角としての回転角速度、 $t$ は時間である。

【0013】このような式に従って、インバータを制御することで、アームの故障によりモータコイルへの電流

供給ができなくなったときに、モータの回転を維持するとともに、中性点間の電流を所定のものに維持するよう他のモータコイルへの電流を調整することができる。

【0014】また、本発明は、第1のインバータにより制御される第1の三相モータコイルと、第2のインバータにより制御される第2の三相モータコイルと、前記第1および第2のインバータに電力を与えるコンデンサと、前記第1および第2の三相モータコイルの中性点に接続された電源とを備え、前記第1および第2のインバータを制御することで前記電源電圧を昇降圧してコンデンサの電圧を可変するコンバータ機能を備えたモータ駆動制御装置において、所望のモータ駆動電流を実現するために、前記第1および第2の三相モータコイルの各相の電流値に要求される関係と、所望の昇降圧を実現するために前記第1および第2の三相モータコイルの各相の電流値に要求される関係の両方を満たす各相電流値を所定の行列に基づき演算する演算手段を有し、前記各相のうちの1つが故障した場合には、故障した相の電流がなくて所望のモータ駆動電流と昇降圧のための電流が前記第1および第2のインバータから出力されるように前記所定の行列を変形することを特徴とする。

【0015】このように、故障時と通常運転時とで、モータ駆動電流を得るための行列を変更することで、故障時においてモータ出力を所望のものに維持することができる。

【0016】また、前記第1の三相モータコイルと、前記第2の三相モータコイルは二重巻線モータを形成していることが好適である。

【0017】また、前記故障が検出された場合には、昇降圧制御の目標電圧を高く設定することが好適である。これによって、必要なモータ出力のためのモータ電流を減少することができる。そこで、インバータの許容電流内に抑えた状態で、モータ出力を所望のものに維持することができる。

【0018】また、前記第1の三相モータコイルと、第2の三相モータコイルが、0度または60度以外の値の角度差で配置されていることが好適である。

【0019】また、本発明に係るモータ駆動制御方法は、1つのロータに対し、独立したスター結線のモータコイルを2つ有し、これらモータコイルの中性点間を直流電源を介し接続したモータを駆動するモータ駆動制御方法であって、前記2つのモータコイルに対応して設けられ、それぞれが対応するモータコイルの複数の端部に接続される複数のアームを有する2つのインバータの各アームの動作を制御して、2つのモータコイルに所望のモータ駆動電流を供給するとともに、前記アームの少なくとも1つが故障して電流を出力できなくなったときに、他のアームを制御して、2つのモータコイルにおける電流の回転を維持するとともに、一方のモータコイルの中性点から流れ出る電流が他方のモータコイルに流れ

込む電流に一致するように、2つのインバータにおけるアームを制御することを特徴とする。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

【0021】「システム構成」図1は、一実施形態である駆動システム20の構成の概略を示す構成図である。この駆動システム20は、スター結線（以下Y結線という）された二つのモータコイル（以下三相コイルという）24, 26を有する二重巻線モータ（以下、2Yモータという）22と、二つの三相コイル24, 26に各々接続され正極母線34と負極母線36を共用する二つのインバータ回路30, 32と、正極母線34と負極母線36とに接続されたコンデンサ38と、2Yモータ22の二つの三相コイル24, 26の中性点間に設けられた電池40と、装置全体をコントロールするコントローラ50とを備えている。

【0022】図2は、2Yモータ22の二つの三相コイル24, 26の関係を例示する説明図である。2Yモータ22は、例えば外表面に永久磁石が貼り付けられたロータと、図2に例示するように二つの三相コイル24, 26を回転方向に角度 $q$ だけずらして巻回されたステータとから構成されている。二つの三相コイル24, 26が巻回されている点を除いて通常の発電可能な同期発電電動機と同様の構成をしている。三相コイル24, 26は回転方向に角度 $q$ だけずれているから、2Yモータ22は六相のモータと考えることもできる。こうした2Yモータ22を駆動するには、インバータ回路30により三相コイル24に印加される三相交流に対して巻線ずれ角 $q$ だけ位相差をもった三相交流が三相コイル26に印加されるようインバータ回路32を制御すればよい。なお、2Yモータ22の回転軸は駆動システム20の出力軸となっており、この回転軸から動力が出力される。また、本実施形態において2Yモータ22は発電電動機として構成されているから、2Yモータ22の回転軸に動力を入力することで、2Yモータ22により発電できる。

【0023】インバータ回路30, 32は、共に6個のトランジスタT11～T16, T21～T26と6個のダイオードD11～D16, D21～D26とにより構成されている。6個のトランジスタT11～T16, T21～T26は、それぞれ正極母線34と負極母線36とに対してソース側とシンク側となるよう2個ずつペアで配置され、その接続点に2Yモータ22の三相コイル24, 26の各々が接続されている。この正極母線34と負極母線36間に配置されたペアのトランジスタ構成される回路をアームと呼ぶ。従って、インバータ回路30, 32は、それぞれ3相のアームを有し、各相アームのトランジスタのオンオフを制御することで、モータ駆動電流を制御する。

【0024】そして、正極母線34と負極母線36とに電圧が作用している状態で対をなすトランジスタT11～T16, T21～T26のオン時間を巻線ずれ角 $q$ の位相差をもって制御すれば、2Yモータ22の三相コイル24, 26により回転磁界を形成し、2Yモータ22を回転駆動することができる。

【0025】コントローラ50は、CPU52を中心とするマイクロプロセッサとして構成されており、処理プログラムを記憶したROM54と、一時的にデータを記憶するRAM56と、入出力ポート(図示せず)とを備える。このコントローラ50には、2Yモータ22の三相コイル24, 26のuvwの各相に取り付けられた電流センサ61～66からの各相電流Iu1, Iv1, Iw1, Iu2, Iv2, Iw2や2Yモータ22の中性点に取り付けられた電流センサ67からの中性点電流

(電池電流)Io, コンデンサ38に取り付けられた電圧センサ70からのコンデンサ38の端子間電圧Vc, ロータ位置を検出する回転角センサ68で検出したロータ位置、電圧センサ69で検出した電池40の電圧Vb, 2Yモータ22の駆動に関する指令値などが入力ポートを介して入力されている。ここで、電流センサ61～63および電流センサ64～66のうちの各々いずれか一つは省略可能であり、いずれか一つを異常検出専用のセンサとして用いるものとしてもよい。また、コントローラ50からは、インバータ回路30, 32のトランジスタT11～T16, T21～T26のスイッチング制御を行なうための制御信号などが出力ポートを介して出力されている。

【0026】「駆動電流制御」このように構成された駆動システム20において、インバータ回路30, 32におけるトランジスタT11～T16のスイッチングを制御して、モータコイル24, 26に供給する電流を制御する。特に、モータコイル24, 26では、角度 $q$ だけずれて配置されている。従って、モータコイル24, 26に供給する各相電流を $q$ だけ位相をずらせたものとすることによって、モータコイル24, 26の両方に供給する電流によって、ロータを回転し、2Yモータ22を駆動することができる。このインバータ回路30, 32のスイッチングは、アクセルペダル踏み込み量などに応じて決定されるトルク指令値に応じて、コントローラ50が計算により決定する。

【0027】通常は、励磁電流とトルク電流を分けて計算するベクトル制御などの手法が用いられる。

【0028】「電力変換制御」また、本実施形態では、2つのモータコイル24, 26の中性点間に電池40を配置し、モータコイル24, 26への電力供給を制御するインバータ回路30, 32のスイッチングを制御することで、2つのインバータの電源であるコンデンサ電圧を制御する。

【0029】すなわち、インバータ回路30, 32にお

ける上側トランジスタT11, T13, T15, T21, T23, T25のオン期間と、下側トランジスタT12, T14, T16, T22, T24, T26のオン期間の長さに差を付けることによって、モータコイル24, 26における中性点の電圧と、コンデンサ38の出力電圧の比が決定される。

【0030】すなわち、本システムでは、モータコイル24, 26の中性点電位Vz1, Vz2と、インバータ回路30, 32の電源電圧、すなわちコンデンサ38の出力電圧Vcの関係は、インバータ回路30, 32における上側トランジスタと、下側トランジスタのオン期間の比で定まり、2つのモータコイルM1, M2の中性点間の電位差は、電池40の電圧Vb (= |Vz1 - Vz2|) である。従って、インバータ回路30, 32の上側トランジスタと、下側トランジスタのオン期間の比

(変調率)によって、コンデンサCの両端電圧Vcが決定されることになる。

【0031】また、インバータ回路30, 32は、内部のトランジスタをPWM制御することによって、モータコイル24, 26の中性点電位Vz1, Vz2を制御する。ここで、上側トランジスタのオン期間と下側トランジスタのオン期間の比(変調率)は、図2(a), 2(b)に示すように、三角波である搬送波の一周期に対する電圧指令値の振幅の割合である。すなわち、電圧指令値を高くすると、それだけ三角波が指令値を上回る期間が少なくなる。そして、三角波が指令値を上回る期間を各相の上側トランジスタのオン期間、下側トランジスタのオフ期間とすることで、上下トランジスタのオン期間の比(すなわち変調率)が決定される。図2(a)には、インバータINV1の変調率d1を示されており、図2(b)には、インバータINV2の変調率d2が示されている。

【0032】このように、変調率によって、中性点電位が決定され、この中性点電位とコンデンサ電圧の比は、変調率で決定される。さらに、2つの中性点電位の電位差は、電池40の電圧Vbである。従って、変調率と、コンデンサ38の電圧Vcの間には、次の関係がある。

【0033】 $V_c = V_b / (d_1 - d_2)$   
そこで、両インバータ回路30, 32の変調率d1, d2を制御することで、コンデンサ38の電圧Vcを決定することができる。

【0034】なお、上述の例では、インバータの搬送波周期Tsに対し、デッドタイムをおかげにスイッチングトランジスタをオンオフした。すなわち、デューティー比50%の場合には、上下トランジスタとも50%の期間オンするようにした。しかし、スイッチング期間における貫通電流を完全になくすために、上下トランジスタを両方ともオフするデッドタイムTdを設ける場合も多い。この場合には、上述の式は、次のように書き換えて適用される。

9

【0035】 $V_c = V_b / \{ (d_1 - T d / T s) - (d_2 + T d / T s) \}$

このように、デッドタイムを設ける場合においても、変調率  $d_1$ ,  $d_2$  を制御することでコンデンサ電圧  $V_c$  を決定することができる。

【0036】このようにして、2Yモータ22の駆動およびインバータ回路30、32の変調率の制御により、コンデンサ38の電圧を制御することができる。

【0037】「モータ電流制御」ここで、2Yモータ22のロータを回転させるためには、2つのモータコイル24、26の電流の総和が回転する必要がある。

【0038】この例では、三相のモータコイル24、26は、それぞれ互いに  $120^\circ$  ずつ位相が異なるコイルから形成されている。モータコイル24の各相コイルに流れる電流を図3に示すように、 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$  とする。また、三相のモータコイル24、26の位置ベクトルを、図4に示すように、 $i_1 = (\cos 0, \sin 0)$ ,  $i_2 = (\cos 120, \sin 120)$ ,  $i_3 = (\cos 240, \sin 240)$ ,  $j_1 = (\cos q, \sin q)$ ,  $j_2 = (\cos(q+120), \sin(q+120))$ ,  $j_3 = (\cos(q+240), \sin(q+240))$  とする。ここで、ここで  $q$  は両モータコイル24、26間の角度差

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos 240 & \cos q & \cos(q+120) & \cos(q+240) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin 240 & \sin q & \sin(q+120) & \sin(q+240) \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

この式の左辺の電流は2つの自由度を持ち、一般にはこの自由度を用い電流の総和が0になるように制御される。

【0043】「故障時の制御」次に、インバータ回路30、32のアームが故障し、電流の出力ができなくなつた場合について説明する。

【0044】まず、インバータ回路32のw相アーム

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos 240 & \cos q & \cos(q+120) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin 240 & \sin q & \sin(q+120) \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

この場合、 $r$ 、 $I$  の大きさは、小さくなるが、左辺の行列がランク4であるため、2Yモータ22を駆動するための電流  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$  とコンデンサ38を昇降圧するための電流  $I$  を、電流  $b_3$  を除く相の電流で実現することができる。

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos q & \cos(q+120) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin q & \sin(q+120) \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

\* (位相差) であり、三角関数の単位は°である。

【0039】この場合において、モータがトルクを出すためには、各相コイルの電流の総和が回転する必要がある。そこで、モータ出力トルクに有効に働く電流成分の大きさを  $r$ 、ロータの電気角としての回転角速度を  $w$ 、時間  $t$ とした場合、次式を満足することが必要である。

【0040】

$$\begin{aligned} \text{【数3】 } & a_1 \cos 0 + a_2 \cos 120 + a_3 \cos 240 + b_1 \cos q + b_2 \cos(q+120) + b_3 \cos(q+240) = r \cos(wt) \\ & a_1 \sin 0 + a_2 \sin 120 + a_3 \sin 240 + b_1 \sin q + b_2 \sin(q+120) + b_3 \sin(q+240) = r \sin(wt) \end{aligned}$$

また、コンデンサ38を充放電(昇降圧)するために必要な電池電流  $I$  については、次の関係を満足する必要がある。

【0041】

$$\begin{aligned} \text{【数4】 } & a_1 + a_2 + a_3 = I \\ & b_1 + b_2 + b_3 = -I \end{aligned}$$

この式を整理すると次式となる。

【0042】

【数5】

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos 240 & \cos q & \cos(q+120) & \cos(q+240) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin 240 & \sin q & \sin(q+120) & \sin(q+240) \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cos(wt) \\ r \sin(wt) \\ I \\ -I \end{pmatrix}$$

※ (トランジスタT25, T26) が故障し、ここから電流がoutputできなくなった場合について考える。この場合には、 $b_3 = 0$  となり、上述の式は、次のように変形できる。

【0045】

【数6】

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos 240 & \cos q & \cos(q+120) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin 240 & \sin q & \sin(q+120) \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cos(wt) \\ r \sin(wt) \\ I \\ -I \end{pmatrix}$$

【0046】同様に、故障によりインバータ回路30、32のw相アームが両方とも故障した場合には、電流  $a_3$  や  $b_3$  が0になり、式は次のように変形できる。

【0047】

【数7】

$$\begin{pmatrix} \cos 0 & \cos 120 & \cos q & \cos(q+120) \\ \sin 0 & \sin 120 & \sin q & \sin(q+120) \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cos(wt) \\ r \sin(wt) \\ I \\ -I \end{pmatrix}$$

11

この場合、 $r$ 、 $I$ の大きさは小さくなるが、位相差 $q = 0^\circ$ 、 $60^\circ$ でなければ、左辺の行列のランクが4であり、モータを駆動するための電流をコンデンサ38を昇降圧するための電池電流 $I$ を各相電流 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ で実現することができる。すなわち、角度差 $q$ が $0^\circ$ と $60^\circ$ の倍数以外に配置することにより、残った4相のコイル電流によってモータの駆動と、コンデンサ38の昇降圧の制御を維持できる。なお、角度差 $q$ は、現実的には $30^\circ$ に設定することが好適であり、これによつて多相のコイル電流がなくなった場合にこれを効果的に補うことができる。

【0048】ここで、モータ出力 $W_0$ は、力率を $\cos\phi$ 、コンデンサ電圧（インバータに印加される電圧）を $V_c$ とすると、 $W_0 = V_c \cdot r \cdot \cos\phi$ で表される。

【0049】また、モータ出力は、電圧 $V_b$ の電池より供給されるエネルギーにより決まるので、モータ電流 $I$ は、 $I = W_0 / V_b$ で表される。

【0050】ここで、 $W_0 = 5 \text{ kW}$ 、 $V_b = 50 \text{ V}$ 、力率 $\cos\phi = 0.8$ とし、上述の式の2アーム故障の場合について、 $V_c = 100, 200, 300 \text{ V}$ の場合について各相電流を求め、その最大値を見ると、各々の場合について、最大電流は $129.9 \text{ A}$ 、 $93.8 \text{ A}$ 、 $81.8 \text{ A}$ となる。これより、電池電圧 $V_b$ に対するコンデンサ電圧 $V_c$ を大きくすると、故障時でも相電流（インバータのトランジスタ（デバイス）を流れる電流）が減少することを示している。

【0051】そこで、故障時には、特定のコンデンサ電圧（例えば、 $100 \text{ V}$ ）では、トランジスタの許容電流値（例えば、 $100 \text{ A}$ ）を超えての運転はできないが、コンデンサ電圧 $V_c$ を高くし、（例えば、 $200 \text{ V}$ ）、トランジスタの電流を下げ（例えば、 $93.8 \text{ A}$ ）ることで、トランジスタの許容電流内でアームが故障した状態での運転（リンプフォーム運転）が可能になる。すな

12

わち、コンデンサ電圧 $V_c$ を高くすることで、モータ出力を所望のものに維持してリンプフォーム運転を行うことが可能となる。

【0052】このようにして、本実施形態のシステムによれば、インバータ回路30、32のアームが故障した場合においても他のアームからのモータ駆動電流によって、故障した相の電流分を補って駆動することができる。従つて、トルクリップルを増加したり、コンデンサ38電圧が正常値から逸脱すること防止して、モータの運転を継続することが可能になる。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、アームの故障によりモータコイルへの電流供給ができなくなつたときに、故障していない他のモータコイルへの電流を調整することで、モータの回転を維持するとともに、中性点間の電流を所定のものに維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 システムの全体構成を示す図である。

20 【図2】 変調率とコンデンサ電圧の関係を示す図である。

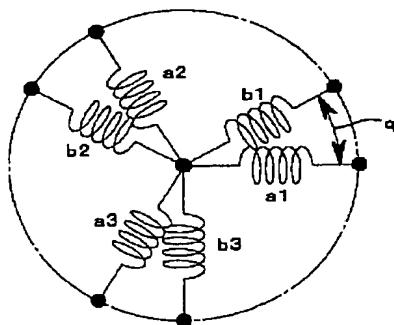
【図3】 モータコイルの配置および各相電流を示す図である。

【図4】 各相電流の位置ベクトルを示す図である。

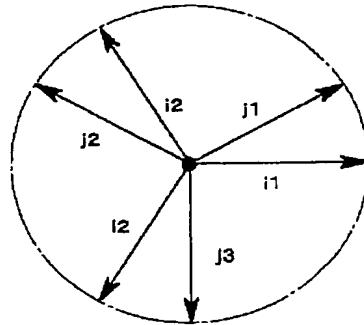
【符号の説明】

20 駆動システム、22 2Yモータ、24, 26 モータコイル、30, 32 インバータ回路、34 正極母線、36 負極母線、38 コンデンサ、40 電池、50 コントローラ、52 CPU、54 RO M、56 RAM、61～67 電流センサ、68 回転角センサ、T11～T16, T21～T26 トランジスタ、D11～D16, D21～D26 ダイオード。

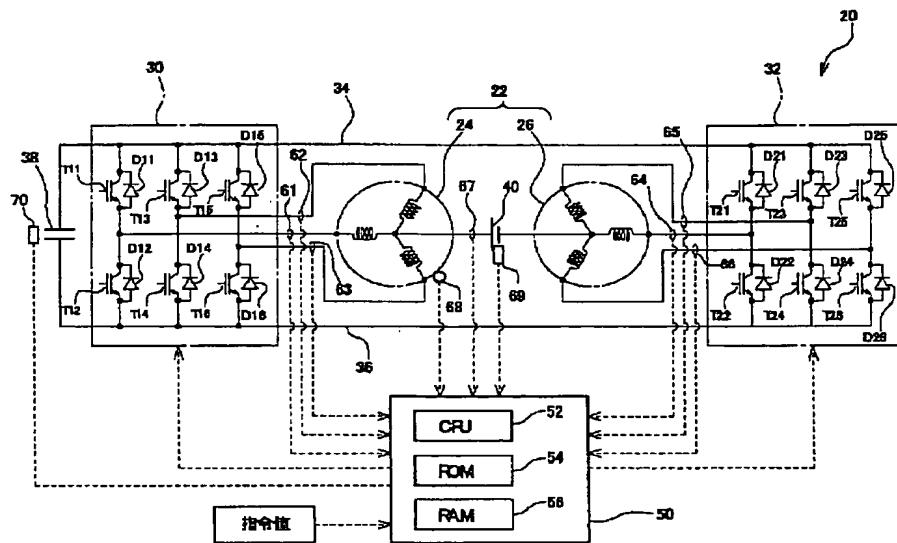
【図3】



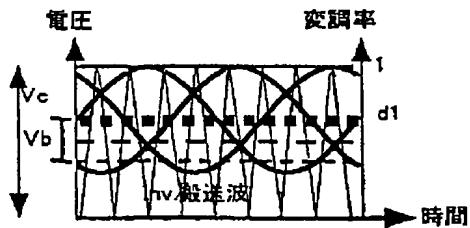
【図4】



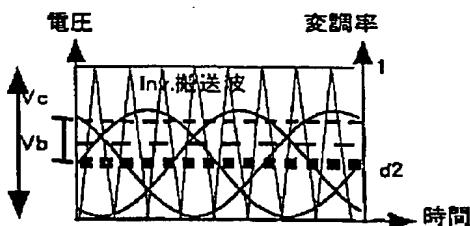
【図1】



【図2】



(a)



(b)

フロントページの続き

(72)発明者 守屋 一成  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 大谷 裕樹  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 稲熊 幸雄  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 荒川 俊史  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 大谷 裕子  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 社本 純和  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内

(72)発明者 小松 雅行  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内

F ターム(参考) 5H560 AA08 BB04 BB07 BB12 DA00  
DC12 DC13 EB01 EB07 GG04  
JJ01 SS02 TT15 UA06 XA02  
XA12 XA13  
5H576 AA15 BB06 CC04 DD07 EE01  
EE11 GG04 HA04 HB02 HB05  
JJ03 JJ08 JJ16 KK05 LL41  
MM11